

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
“ANTONIO NARRO”**

**DIVISIÓN DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE**



**EFFECTO DE LA CONCENTRACIÓN DEL AGUA RESIDUAL SOBRE LA
GERMINACIÓN EN CINCO VARIEDADES DE SORGO (sorghum vulgare
pers.)**

TESIS PRESENTADA POR:

REGINA SANTIAGO ANTONIO

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN**

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Enero del 2007

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
“ANTONIO NARRO”
DIVISIÓN DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE**



**EFFECTO DE LA CONCENTRACIÓN DEL AGUA RESIDUAL SOBRE LA
GERMINACIÓN EN CINCO VARIEDADES DE SORGO (sorghum vulgare
pers.)**

POR:

REGINA SANTIAGO ANTONIO

TESIS

**QUE SE SOMETE A CONSIDERACION DEL H. JURADO EXAMINADOR
COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN**

**APROBADA
PRESIDENTE DEL JURADO**

**MC. LUIS SAMANIEGO MORENO
ASESOR PRINCIPAL**

DRA. MANUELA BOLIVAR DUARTE DR. JAVIER DE J.CORTES BRACHO

ASESOR

ASESOR

**DR. RAÚL RODRIGUEZ GARCIA
COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE INGENIERÍA**

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Enero de 2007

AGRADECIMIENTOS

A DIOS

Por brindarme la oportunidad de terminar mi carrera con salud al igual que toda la de mi familia, y darle la fuerza suficiente de salir adelante en los momentos en que me encontraba sin ninguna salida ya que tu siempre estuviste en las buenas y en las malas gracias dios.

A mi “alma mater”

Gracias por abrirme las puertas para continuar con mi preparación y poder ser alguien en la vida, ya que sin la oportunidad que tú me brindaste y por haberme acogido y así contribuir en mi formación profesional y por brindarme la oportunidad de terminar mi carrera.

Agradecer el apoyo recibido por el MC. Luis Samaniego Moreno por dedicar parte de su tiempo para la realización de esta tesis. Agradeciendo por sus enseñanzas durante la carrera, orientación y comprensión.

A la Dra. Manuela Bolívar Duarte, por la elaboración de esta tesis, también agradeciendo por sus enseñanzas brindadas en este departamento, simplemente gracias y que dios siempre lo mantenga con salud para seguir con esa labor que desempeña .

Al Dr. Javier De Jesús Cortes, por la elaboración de esta tesis, también agradeciendo sus enseñanzas para poder salir adelante en la carrera, y que dios siempre lo mantenga con salud para seguir adelante gracias.

DEDICATORIA

A mis padres.

Sr. Juan Santiago Martín.

Sra. Juana Mari Angélica.

Este trabajo es dedicado especialmente a ellos ya que sin la ayuda de ellos no hubiese sido posible la culminación de este trabajo, ya que siempre estuvieron conmigo en las buenas y en las malas, por la motivación, consejos, bendiciones , orientándome el camino correcto que debería seguir para tomar decisiones correctas.

A mis hermanos:

Manuel, Martín, José, Genaro y Ana Santiago, por haberme brindado su apoyo y confianza, amor, cariño y comprensión que como hermanos son únicos en la vida y con sus esfuerzos salimos adelante. A todos ellos gracias.

A mi prima:

Antonia, por haberme brindado su apoyo en el transcurso de mi carrera incondicionalmente gracias.

A mi novio Eduardo:

Por el apoyo, confianza y consejo que no encuentro palabras para agradecerle gracias.

A todos mis compañeros y amigos de la generación en especial a:

Rubén, Francisco, Marquez, Vladimir, Cristóbal, Veronica, Yesi, que estuvieron siempre conmigo, compartiendo cosas buenas y malas , dándome alegría y confianza sin recibir nada a cambio a todos ellos gracias.

INDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS-----	III
DEDICATORIA-----	IV
INDICE DE CONTENIDO-----	V
INDICE DE CUADROS -----	VIII
INDICE DE FIGURAS-----	XI
INTRODUCCION-----	1
OBJETIVO-----	2
REVISION DE LITERATURA-----	3
El Cultivo del Sorgo (<i>Sorghum vulgare pers</i>) -----	3
Origen-----	3
Características Ecológicas-----	5
Ubicación Taxonómica-----	5
Descripción Botánica-----	6
Requerimiento de Agua-----	8
Distribución del Cultivo-----	9
Características Básicas-----	10
Fases de Crecimiento-----	11
El Sorgo y Requerimientos de Suelo-----	12
Condiciones Ambientales Requeridas para el Cultivo del Sorgo-----	12
Principales Productores de Sorgo-----	17

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Nutrientes y función-----	15
Cuadro 2. Cantidades de nutrientes extraídos-----	16
Cuadro 3. Producción de sorgo en los principales países productores (Miles de hectáreas)-----	17
Cuadro 4. Área cosecha de sorgo en los países productores (miles hectáreas)-----	17
Cuadro 5. Reuso de aguas residuales de Cd. Juárez , Mexico-----	25
Cuadro 6. Sitios en México donde se reutilizan aguas residuales para la producción-----	26
Cuadro 7. Clasificaciones del agua en función de la conductividad eléctrica (dS/m)-----	31
Cuadro 8. Clasificación del agua en función de la relación absorción de Sodio (meq./l)-----	31
Cuadro 9. Clasificación del agua por su salinidad efectiva-----	34
Cuadro 10. Clasificaciones del agua de riego según su salinidad potencial -----	35
Cuadro 11. Clasificación del agua según el contenido de carbono de sodio residual-----	36
Cuadro 12. Clasificación del agua de riego según de acuerdo a su contenido de boro-----	37
Cuadro 13. Clasificación del agua de riego por el contenido de cloruros----	37
Cuadro 14. Criterios e índices de clasificación del agua de riego-----	37
Cuadro 15. Determinación de la calidad Agronómica del agua residual-----	42
Cuadro 16. Análisis del comportamiento de las concentraciones-----	42

INDICE DE FIGURA

Figura 1. Rangos óptimos de pH para el sorgo-----	12
Figura 2. Comportamiento de las concentraciones vs variedades-----	45
Figura 3. Días de germinación de la 95 N756 variedad 2005-----	46
Figura 4. Días de germinación de la 95 N746 variedad 2005-----	47
Figura 5. Días de germinación de la 95 N997 variedad 2005-----	47
Figura 6. Días de germinación de la 95 N754 variedad 2005-----	48
Figura 7. Días de germinación de la 95 N755 variedad 2005-----	49
Figura 8. Medias del factor A-----	51
Figura 9. Medias del factor B-----	52

Agua Residual-----	18
Definición-----	18
Contaminación de los Cultivos con Organismos Patógenos por la reutilización de Aguas Residuales Urbanas y Residuos orgánicos Sólidos-----	18
Riego con Aguas Residuales-----	23
El Uso de Aguas Residuales-----	24
Utilización de Aguas Residuales Urbanas para el Riego Forestal-----	27
Beneficios de la Utilización de Agua Residual para el Riego-----	27
Descarga a Suelo y Cuerpo de Agua-----	27
Calidad del Agua para Riego-----	28
Características que Determinan la Calidad-----	29
Clasificación del Agua para Riego en Función de la Conductividad eléctrica y la Relación de Absorción de Sodio-----	29
Clasificación del Agua para Riego Hecha en Chapingo según Aguilera y Martínez-----	33
 MATERIALES Y METODOS-----	 38
Localización-----	38
Materiales-----	38
Metodología-----	40
Diseño Experimental-----	40
Variables Evaluadas-----	41
 RESULTADOS Y DISCUSION-----	 42
Calidad Agronómica del Agua de Riego-----	42
Demanda Química de Oxígeno (DQO) -----	43
Porcentajes de Germinación de cada Prueba Realizada-----	44
Días de Germinación-----	46
Análisis de Varianza y Comparación de Medias (Tukey) -----	49
Comparación de medias de Tukey-----	52

CONCLUSIÓN-----	59
RECOMEDACIONES-----	60
RESUMEN-----	61
BIBLIOGRAFIA-----	62

Cuadro 17. Clasificación de la calidad agronómica de cada una de las concentraciones-----	43
Cuadro 18. Porcentajes de germinación observados de cada prueba-----	44
Cuadro 19. Datos transformados-----	49
Cuadro 20. Análisis de varianza-----	50
Cuadro 21. Comparación de medias del factor B-----	53
Cuadro 22. Comparación de medias del factor B dentro del nivel 1 del factor A-----	53
Cuadro 23. Comparaciones de medias del factor B dentro del nivel 2 del factor A-----	54
Cuadro 24. Comparación de medias del factor B dentro del nivel 3 del factor A-----	54
Cuadro 25. Comparación de medias del factor B dentro del nivel 4 del factor A-----	55
Cuadro 26. Comparación de medias del factor B dentro del nivel 5 del factor A-----	55
Cuadro 27. comparación de medias del factor A-----	56
Cuadro 28. Comparación de medias del factor A dentro del nivel 1 del factor B-----	56
Cuadro 29. Comparación de medias del factor A dentro del nivel 2 del factor B -----	57
Cuadro 30. Comparación de medias del factor A dentro del nivel 3 del factor B-----	57
Cuadro 31. Comparación de medias del factor A dentro del nivel 4 del factor B-----	58
Cuadro 32. Comparación de medias del factor A dentro del nivel 5 del factor B-----	58

Por otra parte el cultivo del sorgo en México es una actividad de vital importancia por lo cual cabe mencionar que es utilizado para los seres humanos y para animales.

No se sabe aun si existe un trabajo de investigación que de una explicación de la germinación del sorgo regada con agua residual no tratada y por consiguiente esta investigación podría arrojar resultados en beneficio para países donde los cultivos son regados bajo las condiciones ya mencionadas, y esto incrementaría el rendimiento por unidad de área.

OBJETIVO:

El objetivo del presente trabajo es el de evaluar el porcentaje de germinación en cinco variedades de sorgo usando cinco concentraciones de agua residual cruda de la UAAAN

El sorgo de grano del que se cultivan numerosas variedades, como milo, kafir, durra, feterita y kaoliang, es uno de los cereales más resistentes a la sequía; en condiciones de sequedad y calor extremas, la planta entra en una fase de descanso y cuando la situación mejora recupera la actividad.

El sorgo azucarado contiene en el tallo un jugo dulce, y se cultiva para obtener jarabes y como planta forrajera. Los llamados sorgos de hierba, como el sorgo sudanés y los híbridos de éste con el sorgo azucarado y con el de grano, se cultivan como plantas de forraje y pasto. Ciertas variedades forman panículas floríferas con largos tallos rígidos y se cultivaban para fabricar escobas, pero hoy están siendo reemplazadas por los plásticos.

En regiones cálidas crece una gramínea vivaz próxima al sorgo que se comporta como mala hierba y es muy difícil de erradicar.

Se han obtenido variedades enanas de sorgo de grano, de casi un metro de altura, propias para la recolección con cosechadoras combinadas. Este avance ha determinado un espectacular aumento del consumo del cereal. La investigación se centra ahora en aumentar la resistencia a enfermedades e insectos parásitos, la tolerancia a la sequía y el rendimiento de las variedades de grano, y en mejorar el rendimiento y la calidad de los sorgos forrajeros. La difusión del uso de edulcorantes líquidos ha incrementado el interés por el sorgo azucarado.

El sorgo puede obtener el mismo rendimiento que otros cultivos, pero empleando menor cantidad de agua. El gran número de raíces fibrosas, hace que la planta absorba eficazmente el agua.

A medida que se marchitan, las hojas se enrollan, quedando entonces una menor superficie expuesta a la transpiración. Además, la cobertura cerosa del

tallo disminuye su transpiración; esto permite a la planta soportar los momentos de sequía. El sorgo se desarrolla bien en áreas secas o calurosas, en zonas donde el maíz no lo soportaría; entre otras razones, por su capacidad de latencia durante las sequías, que le permite luego volver a crecer.

Características Ecológicas

El sorgo se desarrolla bien tanto en los suelos arenosos como en los arcillosos, pero las mayores cosechas se obtienen en los suelos francos. En general se puede decir que el sorgo se adapta a la mayoría de las clases y tipos de suelos que sean permeables. Debe cultivarse en terrenos que tengan un pH comprendido entre 5.5 y 8.5. La resistencia de cloruro admisible en la solución del suelo puede llegar hasta 4 por ciento (cantidad máxima para no perjudicar el rendimiento).

En general los suelos elegidos para el cultivo del sorgo son de textura franco arenoso fino, franco arcillo limoso, y arcillo limoso. No deben ser rocosos salinos y de drenaje interno de muy rápido a lento. Estos suelos pertenecen a las clases II y III y el pH varia de 6.5 a 8.0(Según Aguirre 1984).

Ubicación Taxonómica

Reino	vegetal
División	trachaeophyta
Clase	angiospermae
Subclase	monocotiledoneae
Orden	glumiflorae
Familia	gramineae
Genero	sorghum
Especie	vulgare

Descripción Botánica

Ciclo Vegetativo

Según Aguirre (1984), el sorgo es una especie vegetal con hábito de crecimiento anual, su ciclo vegetativo tiene un rango muy amplio según las variedades y las regiones. En general las variedades de mayor rendimiento son de 120 a 140 días; mas tardías no es conveniente, ya que estas variedades ocupan demasiado tiempo el terreno del cultivo.

Clasificación sexual

El sorgo es una planta sexual, monoica, hermafrodita, incompleta y perfecta.

Sexual

Porque su multiplicación se realiza por medio de una semilla, cuyo embrión se origina por la unión de un gameto masculino y de un gameto femenino.

Monoico

Por encontrarse el androceo y el gineceo en una misma planta

Hermafrodita

Por contener el androceo y el gineceo en una misma planta.

Sistema radicular

Las raíces del sorgo son adventicias, fibrosas y desarrollan numerosas raicillas laterales. La profunda ramificación y amplia distribución del sistema radicular es

una de las razones por las cuales el sorgo es tan resistente a las sequías, aunque otros factores también contribuyeron a tan marcada resistencia de la especie.

La planta crece de una manera lenta hasta que el sistema radicular esta bien establecido, de tal manera que para la época de madurez las raíces abastecen un área foliar aproximadamente la mitad de aquella del maíz.

Tallos

Estos son cilíndricos, erectos, sólidos y pueden crecer a una altura de 0.6 m a 3.50 m, estando divididos longitudinalmente (entrenudos) cuyas uniones las forman los nudos y de los cuales emergen las hojas, cada nudo esta provisto de una yema lateral.

Hojas

Las hojas aparecen alternas sobre el tallo, las vainas foliares son largas y en las variedades se encuentran superpuestas. Todo las variedades varían en el tamaño de sus hojas, pero todas ellas se poseen algo más pequeña que el maíz.

Las hojas del sorgo se doblan durante periodos de sequía, característica que al reducir la transpiración, contribuye a tan peculiar resistencia de la especie a la sequía.

Flores

La inflorescencia del sorgo se denomina con el nombre de panícula, esta es compacta en algunos casos o semicompacta en algunos casos.

Las florecillas son de dos clases: seciles y pediceladas; las ultimas son por lo general estimadas. Cada florecilla sesil contiene un ovario, el cual después de la fecundación se desarrolla para formar una semilla.

El sorgo generalmente se autofecunda, sin embargo no existe ningún obstáculo para la fecundación cruzada, pues cuando dos variedades diferentes se encuentran en parcelas contiguas pueden estimarse el cruzamiento en un 5 por ciento, o mas según las variedades.

Requerimientos de Agua

en regiones tropicales son suficientes unos 550 a 600 mm de lluvias bien distribuidas durante el ciclo vegetativo del cultivo. El exceso de humedad, principalmente en suelos muy pesados y mal drenados, puede causar la muerte de las plantas. La humedad requerida por este cultivo es menor que la del maíz y la de otros cultivos. Su resistencia a la sequía se debe a que este cultivo tiene poca abundancia de hojas, y sus tallos se encuentran protegidos por una cera vegetal. Las hojas se enrollan y los estomas se cierran formando así una cámara de aire húmedo. En caso de que se piense sembrar bajo riego, los requerimientos de agua para el cultivo del sorgo son: en los primeros 30 días, en que la planta tiene aproximadamente 7 hojas, el requerimiento es de 2.5 mm diarios. Desde los 30 hasta los 60 días, o sea la época de inflorescencia y floración, el requerimiento de agua es de 7.5 mm diarios, y entre los 60 y los 90 días, o sea hasta la maduración, se necesitan 4.5 mm diarios, mencionada por (Aguirre 1984).

Durante el ciclo vegetativo del cultivo se necesita, generalmente, de 4 a 5 riegos.

Distribución del Cultivo

Aguirre (1984), menciona que en África occidental y central, el sorgo se cultiva en la faja comprendida entre el desierto del Sahara en el norte y los bosques ecuatoriales en el sur. En el África oriental y Australia, se cultiva en regiones más áridas, en las que las precipitaciones demasiado escasas no permiten cultivar bien el maíz. Nigeria y el Sudán son los principales productores de África, pero el sorgo está muy extendido por todo el continente, en gran parte del cual es un alimento básico esencial. En Asia, la producción está más concentrada desde el punto de vista geográfico y dos países China y la India producen el 94 por ciento del total regional.

En la región de América Central y el Caribe, la producción está dominada por México (90 por ciento de la producción regional total) y en América del Sur se concentra en la Argentina (60 por ciento del total de la región) y en las zonas áridas del Brasil, el norte de Colombia y Venezuela.

Casi un tercio de la producción mundial de sorgo corresponde a los países desarrollados. En América del Norte se cultiva en las llanuras de las regiones centrales y meridionales de los Estados Unidos (principalmente en Kansas, Texas y Nebraska) donde la lluvia es escasa y variable. Estados Unidos es el primer productor del mundo, con más del 25 por ciento de la producción total. En Europa, sólo se cultiva el sorgo en algunas zonas poco extensas de Francia, Italia y España. Por lo que respecta a Oceanía, Australia es el único productor de cierta importancia.

Germinación a Emergencia

Ratikanta (1986), menciona que la germinación es un proceso metabólico importante que comienza en la imbibición de agua por la semilla y termina con la emergencia de la radícula de la testa, hay dos procesos importantes involucrados en la germinación: el proceso físico de la toma de agua, e iniciación de los complejos procesos bioquímicos que siguen a la rehidratación.

Características Básicas

Potencial de Rendimiento

Leland (1982), menciona que el sorgo tiene un potencial de rendimiento alto, comparable al arroz, trigo, maíz, en condiciones de campo los rendimientos pueden llegar a superar los 11,000 kg./ha; con rendimiento promedio bueno que fluctúan entre 7,000 y 9,000 kg./ha cuando la humedad no es un factor limitante.

Adaptabilidad

El cultivo de sorgo se adapta en climas muy variados y únicamente necesita de 90 a 140 días para madurar, los rendimientos mas altos se obtienen normalmente de variedades que maduran entre 100 y 120 días.

Temperatura

El sorgo produce grano a un bajo temperaturas altas. El cruzamiento del cultivo puede ser difícil bajo temperaturas de 40°C o superiores con humedad relativa a un 30 por ciento, también cabe señalar que el cultivo de sorgo no es un cultivo demasiado tolerante al clima frío como el maíz. Por lo contrario el sorgo crece

lentamente a temperaturas de 20°C, aunque se ha dado el caso de algunas variedades que pueden germinar y crecer a temperaturas bajas como 12°C.

Fases de Crecimiento

Fase vegetativa

Germinación y desarrollo de la plántula

Leland (1982), menciona que cuando una semilla se coloca en el suelo húmedo absorbe el agua y se hincha. La germinación ocurre rápidamente si el suelo es caliente de 20°C o más, el coleoptilo aparece sobre la superficie después de 3 o 4 días también puede ser hasta los 10 días en casos de suelos fríos de más de 13 a 20°C. Cuando la semilla se hincha el tegumento se rompe y emerge un pequeño coleoptilo y una raíz primaria. El coleoptilo crece y aparecen más raíces primarias.

Desarrollo de inflorescencia y fertilización

La inicial floral se forma de 30 a 40 días después de la germinación pero puede variar de 19 y 70 días o mas, la inicial floral se encuentre de 15 a 30 cm, arriba de la superficie del suelo cuando las plantas tienen de 50 a 70 cm, de altura.

Fase de Maduración

Desarrollo de la Semilla

Leland (1982), menciona que el óvulo en un principio forma una esfera verde claro casi de color crema, después de 10 días principia a formar tamaño y se vuelve de un verde mas oscuro.

Toma alrededor de 30 días para que la semilla alcance el peso seco máximo (madurez fisiológica).

El Sorgo y el Requerimiento de Suelos

Según (<http://www.monografias.com/trabajos/sorgo/sorgo.shtml>), en general los suelos de la región pampeana con aptitud agrícola se adaptan al cultivo del sorgo dándose los mayores rendimientos en suelos profundos, sin exceso de sales, con buen drenaje, sin capas endurecidas, de buena fertilidad y de pH entre 6,2 y 7,8 como se muestra en la figura 1

Figura 1: Rango óptimo del pH para el sorgo

Condiciones Ambientales Requeridas para el Cultivo del Sorgo

(<http://www.monografias.com/trabajos/sorgo/sorgo.shtml>), se menciona que el sorgo tolera mejor la sequía y el exceso de humedad en el suelo que la mayoría de los cereales y crece bien bajo una amplia gama de condiciones en el suelo responde favorablemente a la irrigación, lográndose excelentes resultados bajo riego. Requiere un mínimo de 250 mm durante su ciclo para llegar a producir grano y pueden obtenerse buenos rendimientos con 350 mm, Pero, para lograr altas producciones, el requerimiento de agua varía entre 450 y 600 mm, dependiendo del ciclo del híbrido elegido y las condiciones ambientales.

Las mayores exigencias en agua comienzan unos 30 días después de la emergencia y continúan hasta el llenado de los granos, siendo las etapas más

críticas las de panojamiento y floración, puesto que deficiencias hídricas en estos momentos producen importantes mermas en los rendimientos.

Los mayores rendimientos se lograrán cuando el uso de agua esté disponible durante toda la estación de cultivo.

A pesar de que el sorgo tiene la capacidad de permanecer latente durante la sequía, para volver luego crecer en períodos favorables, las situaciones de stress modifican su comportamiento: el inicial conduce generalmente a una prolongación del ciclo de cultivo, mientras que el stress tardío acelera la madurez.

La siembra debe coincidir con el inicio de las lluvias de primavera para que el sistema radicular se desarrolle y establezca bien antes de que se inicien los períodos secos estacionales.

También es importante considerar la probabilidad de heladas. Las heladas tardías pueden enfriar el suelo, produciendo malas emergencias o matando las plántulas emergidas. Las heladas tempranas pueden tomar a los sorgos tardíos en estado de grano lechoso, produciendo la muerte permanente de la planta y por ende, granos chuzos y livianos.

Durante la floración requiere una mínima de 16°C, pues por debajo de ese nivel se puede producir esterilidad de las espiguillas y afectar la viabilidad del grano de polen. Temperaturas muy altas durante los días posteriores a la floración reducen el peso final de los granos.

Fertilidad del suelo

Según, <http://www.monografias.com/trabajos/sorgo/sorgo.shtml>, el rendimiento del sorgo es severamente reducido por la baja fertilidad de los suelos, así como también por problemas en su condición física. Las condiciones de humedad y aireación son importantes en ese sentido, como sus características químicas.

La mayoría de los nutrientes están accesibles a un pH entre 6,0 y 7,0 aunque no es éste el único factor que influencia su disponibilidad, particularmente en el caso del nitrógeno (N), donde es afectado por el nivel de acción microbiana del suelo.

Macronutrientes

Los macronutrientes llamados primarios son el Nitrógeno, Fósforo y Potasio.

Las principales deficiencias que puede presentarse en los suelos de la mayoría de las regiones sorqueras argentinas son las relacionadas con el Nitrógeno y el Fósforo. La deficiencia de Nitrógeno durante el período que va desde 30 días después de la emergencia hasta la floración, puede causar del 16 al 30% de aborto de flores en la panoja. En cambio, si se presenta después de la floración, el grano tendrá un menor contenido de proteína. Por otra parte, en suelos deficientes en Nitrógeno las plantas desarrollan un sistema radicular más pobre. Los macronutrientes y su función esta mostrada en el cuadro 1. Los macronutrientes denominados secundarios son el Calcio, el Magnesio y el Azufre.

Cuadro No. 1. Nutrientes y su función según: <http://www.monogafias.com/trabajos/sorgo/sorgo.shtml>.

NUTRIENTE	FUNSION
Nitrógeno (N)	Formación de la clorofila: proteína, vitamina y fuentes de proteína de un buen desarrollo del sistema radicular.
Fósforo(P)	Crecimiento de la planta: desarrollo de raíces, rendimiento de granos.
Potasio (K)	Crecimiento inicial de la planta, formación de hojas grandes, tallos y sistema.

Micronutrientes

Son: el Boro, Molibdeno, Cloro, Cobre, Hierro, Manganeseo y Zinc. Su disponibilidad y aún sus deficiencias suelen estar asociadas al pH y contenido de materia orgánica del suelo.

El más importante de los micronutrientes para el sorgo, es el hierro, su deficiencia produce clorosis (amarillamiento). Las mayores carencias de este elemento se observan en suelos con altos contenidos de carbonatos de Calcio y con alta proporción de sodio. Es muy importante un balance adecuado de nutrientes, ya que la deficiencia de unos o varios de ellos puede afectar la respuesta de otros. Por ejemplo una deficiencia de P no corregida limitaría la respuesta a la fertilización nitrogenada.

Fertilización

Según www.monogafias.com/trabajos/sorgo/sorgo.shtml, la disponibilidad de nutrientes para el cultivo depende de distintos factores entre los que se incluyen tipos de suelo, rotaciones, cultivo antecesor, sistemas de labranza y condiciones ambientales.

Es necesario evaluar, o hacer evaluar por un profesional competente, la calidad del suelo tanto en su aspecto químico como físico, esto incluye fundamentalmente, la dotación de nitrógeno (N), de fósforo (P) y, según la zona de que se trate, de potasio (K). Los elementos menores están, en la generalidad de los casos, presentes en cantidades suficientes para el cultivo del sorgo pero debe tener algún indicio previo de alguna carencia en la zona, es conveniente tenerlos en cuenta en el análisis. El laboratorio que haga el análisis o el profesional que lo interprete dará las recomendaciones exactas de los elementos a agregar y sus dosis.

Una buena cosecha de sorgo extrae del suelo, entre grano y rastrojo, una considerable cantidad de nutrientes, tal como se ejemplifica para los macro nutrientes.

Cuadro No 2. Cantidad de nutrientes extraídos del sorgo, según: <http://www.monografia.com/trabajos/sorgo/sorgo.shtml>

Nutriente extraído	Cantidad extraída	Grano de sorgo extraído
Nitrogeno (N)	153 kg./ha	
Fosforo (P ₂ O ₅)	66 kg./ha	6,000 kg./ha
Potasio (K ₂ O)	213 kg./ha	

Pueden aplicarse fertilizantes de un solo elemento o en mezclas de varios.

Su elección dependerá de los resultados del análisis del suelo, que debe ser hecho e interpretado por un profesional, de los objetivos de rendimiento, la relación fertilizante-rendimiento-ganancia neta y de su disponibilidad en el mercado. Al fertilizar, debe cuidarse que los fertilizantes no se coloquen en contacto directo con la semilla, especialmente los más solubles, para evitar daños a la plántula por fototoxicidad.

Principales Países Productores de Sorgo

En el cuadro No.3 Se muestran los principales países productores de sorgo, en los periodos 1995-2002

Cuadro No. 3 Producción de sorgo en los principales países productores (miles de toneladas)(http://www.cna.org.mx/docs/cesa_web/_CAPII.htm)

Pais	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Mundo	54,591	71,641	59,618	61,386	60,006	56,228	59,484	54,501
Estados unidos	11,650	20,201	16,093	13,207	15,118	11,952	13,070	9,392
Nigeria	6,997	7,084	7,297	7,516	7,520	7,711	7,081	7,704
India	9,327	10,934	7,528	8,415	8,685	7,529	7,793	7,060
Mexico	4,170	6,809	5,712	6,475	5,720	5,842	6,567	5,214
Argentina	1,649	2,132	2,499	3,762	3,222	3,344	2,909	2,847
Sudan	2,450	4,179	2,870	4,284	2,347	2,666	4,470	2,800
China	4,854	5,742	3,695	4,130	3,275	2,608	2,718	2,731
Australia	1,273	1,592	1,425	1,081	1,891	2,116	1,935	2,123
Etiopia	1,141	1,808	2,040	1,083	1,334	1,188	1,615	1,820
Burkina	1,266	1,254	943	1,203	1,178	1,016	1,372	1,373
Mali	712	541	560	600	689	565	517	951
Brasil	277	356	543	590	554	780	905	815
Egipto	661	604	787	887	954	941	862	750
Nigeria	266	408	290	503	476	371	656	656
Tanzania	839	872	499	563	561	664	736	650

Cuadro No.4 Área cosechada de sorgo en los principales países productores (miles de hectáreas) (http://www.cna.org.mx/docs/cesa_web/_CAPII.htm)

Pais	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Mundo	42,595	47,080	45,059	43,007	41,681	40,978	44,226	42,566
Estados unidos	3,340	4,780	3,706	3,125	3,458	3,127	3,474	2,954
Nigeria	6,095	6,191	6,589	6,635	6,678	6,885	6,933	7,068
India	11,326	11,400	10,878	9,794	10,251	9,856	9,925	9,500
Mexico	1,372	2,185	1,877	1,953	1,913	1,899	1,943	1,741
Argentina	477	550	678	782	735	720	613	540
Sudan	5,045	6,553	6,556	6,314	4,530	4,195	5,742	4,802
China	1,238	1,305	1,096	980	986	895	787	755
Australia	686	770	544	507	587	622	758	852
Etiopia	920	1,332	1,443	982	1,069	1,011	1,348	1,390

Burkina	1,446	1,379	1,386	1,408	1,330	1,225	1,478	1,484
Mali	853	541	573	617	733	675	702	1,022
Brasil	154	197	275	332	352	524	486	437
Egipto	148	139	156	158	165	163	149	160
Nigeria	1,935	2,115	1,883	2,241	2,099	2,156	2,604	2,604
Tanzania	690	666	622	596	660	639	618	610

Agua Residual

Definición

Según, <http://www.zaragoza.es/azar/ayto/normas/anexo/ANEXAGUA.pdf>, que las aguas residuales, son las aguas usadas que ,procedentes de viviendas e instalaciones de servicios industriales sanitarias o agrícolas, se evacuan por las instalaciones publicas o privadas de saneamiento, aun los distintos medios receptores,diluidas o no con cualquier agua subterránea, superficial o pluvial que se le haya incorporado.

Contaminación de Cultivos con Organismos Patógenos por la Reutilización de Aguas Residuales Urbanas y Residuos Orgánicos sólidos.

Reutilización de desechos orgánicos sólidos urbanos

Henk de Zeeuw (1994), menciona que estos residuos se usan principalmente para mejorar la calidad del suelo (desechos domésticos, desperdicios del mercado, cloacas, excrementos humanos, abonos, desechos de pescados y residuos agroindustriales).

Los residuos agroindustriales, desechos domésticos y desperdicios del mercado también se utilizan como alimento para ganado y peces.

La compostación es la manera más común de procesamiento de los residuos orgánicos urbanos. Este método reduce graves riesgos de salud al:

- ❖ "Retirar de la calle" la basura, reduciendo así los riesgos de salud relacionados con una recolección inadecuada de la basura y su eliminación (y riesgos relacionados, como la transmisión de diarrea y disentería por parte de las moscas, mayor cría de mosquitos y contaminación provocada por animales que se alimentan de residuos);
- ❖ Sanear los residuos mediante la destrucción por el calor de algunos patógenos, incluyendo los huevos de helmintos que se encuentran en los excrementos humanos.

El mismo autor, existen cuatro riesgos principales relacionados con la reutilización de residuos orgánicos:

- ❖ Que no se destruyan los patógenos (especialmente los huevos de helmintos en excrementos humanos) si la composta no ha sido preparado debidamente (a una temperatura demasiado baja). El riesgo es aumentado en gran medida si los materiales orgánicos se mezclan con los excrementos provenientes de letrinas, estiércol o desechos de hospital, causando un cultivo de patógenos.
- ❖ Las pilas de composta mantenidas de forma incorrecta pueden atraer roedores (los que pueden ser focos de enfermedades) e insectos (que pueden ser vectores de enfermedades)
- ❖ Fragmentos no degradables pueden causar heridas, infecciones cutáneas, problemas respiratorios y otros problemas para las personas que recogen, seleccionan la basura y otros que trabajan en el proceso de compostación.
- ❖ Contaminación de metales pesados debido a la mezcla de materiales orgánicos con residuos industriales (eventualmente debida a vertidos

ocasionales de desechos industriales en espacios abiertos situados en zonas residenciales).

Irrigación con aguas residuales tratadas inadecuadamente

Henk de Zeeuw (1994), menciona que los residuos líquidos domésticos se usan en gran escala para el riego y fertilización de cultivos de campo, plantas perennes y árboles, producción de biogás y viveros. Gran parte de las aguas residuales se emplea sin tratamiento previo o con tratamiento insuficiente.

Así también reporta que las aguas residuales contienen diversas bacterias, parásitos protozoarios, virus entéricos y parásitos intestinales. Estos riesgos no se limitan a las aguas residuales oficiales, sino que también son válidos para los ríos y otros cauces abiertos de agua, 45% de 110 ríos analizados contenían niveles de coliformes fecales superiores a los establecidos como normales por la organización mundial de la salud (OMS) para la irrigación ilimitada.

Existen numerosas maneras por las cuales los residuos líquidos no tratados pueden provocar enfermedades humanas. Las bacterias coliformes son transmitidas a los humanos principalmente de las aguas residuales a través de la contaminación de cultivos regados con esas aguas. Otra ruta es a través del consumo de carne contaminada de animales domésticos que han ingerido huevos de tenias provenientes de heces en aguas cloacales no tratadas. Aguas residuales no tratadas suficientemente pueden contener diferentes fases de anquilostomas que habitan en suelos húmedos y afectan a los trabajadores agrícolas cuya piel entra en contacto directo con el suelo.

La transmisión de patógenos también puede tener lugar mediante la fertilización de viveros con residuos humanos y animales (como letrinas colocadas sobre viveros, jaulas de aves colocadas sobre viveros, patos, acarreo de heces humanas y uso de aguas residuales).

Furedy (1996), señala que las actitudes oficiales hacia los riesgos de salud relacionados con la reutilización de residuos urbanos han cambiado históricamente, por necesidad. Además, la autora opina que se mantiene una percepción exagerada de los riesgos de salud implicados en la reutilización de residuos urbanos, y que las normas de reutilización de residuos frecuentemente son anticuadas o incompletas.

Armar-Klemesu *et al* (1998), indican que las principales fuentes de contaminación bacteriana de hortalizas frescas pueden provenir del sistema de distribución, manipulación y venta antes que de la producción.

Medidas de prevención y control sugeridas en la literatura

- Armar-Klemesu *et al* (1998), Mejores vínculos intersectoriales entre la organización y administración de salud, agricultura, residuos y medio ambiente; prioridades y estrategias conjuntas bien definidas; adopción de directivas claras sobre la reutilización de residuos para la agricultura urbana, basadas en criterios de salud y evaluaciones del impacto de esquemas de reutilización de residuos en la agricultura.
- Separación de residuos en su origen. Recolección periódica de residuos orgánicos. Prevención de la combinación de desechos domésticos con desechos de hospitales y de industrias
- Establecimiento de lugares descentralizados de compostación. Aplicación segura de métodos adecuados de compostación (temperatura, duración) para garantizar la eliminación de patógenos. Reconocimiento de los actores informales involucrados en el procesamiento de residuos urbanos y la comercialización de productos reciclados; suministro de agua limpia y servicios sanitarios en vertederos y sitios de procesamiento.

- Identificación de normas de calidad para flujos de residuos municipales y compostas producidos con los mismos; monitoreo de la calidad de suelos, aguas de irrigación provenientes de ríos y de descargas de aguas residuales, y compostas. Certificación de áreas seguras de producción. Restricción de tipos de cultivos en áreas donde se emplean aguas residuales cuya calidad no puede ser garantizada.
- Establecimiento de instalaciones adecuadas de tratamiento de aguas residuales con la aplicación de tecnologías apropiadas (como sistemas de estanques de estabilización de depuradoras en lugar de plantas de tratamiento de lodos de alcantarillado; los primeros son más económicos en su instalación y mantenimiento y retienen mayor cantidad de nutrientes).
- Educación del agricultor en cuanto al control de riesgos de salud (para el trabajador y el consumidor) relacionados con la reutilización de residuos en agricultura, incluyendo:

a.- Evitar la exposición directa a las aguas residuales y suelos tratados con aguas residuales, por ejemplo mediante el uso de botas y ropa de protección y lavándose regularmente manos y pies.

b.- Adaptar la elección de los cultivos a los terrenos tratados con aguas residuales. Por ejemplo, no es conveniente cultivar verduras y hortalizas para ensaladas crudas como tomates, lechuga, perejil, pepino y menta con aguas poco tratadas; estos cultivos podrían ser reemplazados por forrajes, fibras, madera y semillas.

c.- Aplicación de riego por goteo u otros métodos de riego localizado (en lugar de sistemas por aspersión, por gravedad o rociadores). La irrigación con aguas residuales debe suspenderse tres semanas antes de la cosecha.

- Educación del consumidor: raspar y lavar las hortalizas crudas, cocinar bien los alimentos, carne y pescado provenientes de cultivos, animales y peces alimentados con aguas residuales.
- Educación del criador de peces sobre las precauciones a tomar en el manejo de viveros alimentados con aguas residuales

Riego con Aguas Residuales

Según, <http://www.fao.org/docrep/005/Y3918S/y3918s11.htm#TopOfPage>, la reducción de la carga contaminante de las aguas residuales de fincas, industrias y áreas urbanas permitiría que una buena parte se utilizara para regar. Los beneficios potenciales del riego con aguas residuales son enormes.

Por ejemplo, una ciudad con una población de 500000 habitantes y un consumo diario per cápita de 120 litros produce al día aproximadamente 48000 m³ de aguas residuales, suponiendo que el 80 por ciento del agua utilizada llega a los servicios públicos de alcantarillado. Si estas aguas residuales fuesen tratadas y utilizadas para un riego cuidadosamente controlado a razón de 5 000 m³/ha anuales, podrían regarse unas 3, 500 hectáreas.

El valor de estos efluentes como fertilizante es tan importante como el valor del agua. En las aguas residuales tratadas mediante sistemas convencionales las concentraciones típicas de nutrientes son: de nitrógeno 50 mg/litro; de fósforo 10 mg/litro y de potasio 30 mg/litro. Si anualmente se aplican 5 000 m³/ha, la aportación anual de fertilizantes sería: 250 kg/ha de nitrógeno; 50 kg/ha de fósforo y 150 kg/ha de potasio. De esta forma, todo el nitrógeno y la mayor

parte del fósforo y potasio que son necesarios para la producción agrícola serían suministrados por el efluente. Además, otros valiosos micronutrientes y materia orgánica del efluente proporcionarían beneficios adicionales.

Un beneficio adicional es que la mayor parte de estos nutrientes, una vez absorbidos por los cultivos, no entran en el ciclo del agua, y consecuentemente no contribuyen a la eutrofización de los ríos ni a la creación.

El Uso de Aguas Residuales

Según, http://www.who.int/water_sanitation_health/wastewater/es/, la escasez cada vez mayor de las aguas dulces debido al crecimiento demográfico, a la urbanización y, probablemente, a los cambios climáticos, ha dado lugar al uso creciente de aguas residuales para la agricultura, la acuicultura, la recarga de aguas subterráneas y otras áreas.

En algunos casos, las aguas residuales son el único recurso hídrico de las comunidades pobres que subsisten por medio de la agricultura. Si bien el uso de aguas residuales en la agricultura puede aportar beneficios (incluidos los beneficios de salud como una mejor nutrición y provisión de alimentos para muchas viviendas), su uso no controlado generalmente está relacionado con impactos significativos sobre la salud humana. Estos impactos en la salud se pueden minimizar cuando se implementan buenas prácticas de manejo.

Las guías para el uso seguro de aguas residuales en la agricultura deben encontrar el balance justo entre la maximización de los beneficios de salud pública y las ventajas de usar recursos escasos. Es necesario que las guías sean lo suficientemente flexibles para poder adaptarlas a las condiciones locales, sociales, económicas y ambientales. Además, se deben implementar paralelamente con otras intervenciones de salud como la promoción de la

higiene, los servicios de agua potable y saneamiento adecuados y otras medidas de atención primaria de la salud.

En 1989, la OMS publicó las Guías sobre el Uso Seguro de Aguas Residuales en la Agricultura y Acuicultura.

En el cuadro No. 5 se menciona el reuso de aguas residuales en Cd. Juárez chihuahua.

Cuadro No. 5 Reuso de aguas residuales de Cd. Juarez, Mexico (Garza A. V.)
(http://www.respyn.uanl.mx/i/3/ensayos/aguas_residuales.html)

LUGAR	SUPERFICIE IRIGADA (HAS)
Arabia Saudita	2,850
Argentina, Mendoza	3,700
Australia, Melbourne	10,000
Chile, Santiago	16,000
China (diversas ciudades)	1,330,000
Estados Unidos (diversas ciudades)	11,875
India (diversas ciudaes)	85,500
Israel (diversas ciudades)	8,800
Perú, Lima	6,800
Sudáfrica, Johanesburgo	18,000
Sudán, Khartum	2,800
Túnez, Túnez	4,450
MEXICO (diversas ciudades)	350,000
Valle del Mezquital	130,000
Valle de Juárez	26,000

A principios de los 90's, el Instituto Nacional de Ecología (INE) estimaba que alrededor del 44.3 por ciento de las aguas residuales generadas por la población de México, por lo común aguas no tratadas, eran utilizadas en la agricultura.

La Comisión Nacional del Agua de México (CNA) estima que en el país se están regando alrededor de 350,000 has con un volumen de 160 m³/seg de

aguas de origen municipal, algunas mezcladas con aguas residuales industriales o con aguas superficiales o de pozo.

Actualmente en México existen más de 30 grandes escenarios donde la irrigación agrícola depende de las aguas negras generadas por igual número de poblaciones.

En numerosos lugares de México no hay vigilancia ni control sanitario alguno para el reuso de este recurso.

En el cuadro No.6 se menciona los sitios en México donde se reutilizan aguas residuales.

Cuadro No.6 Sitios en México donde se reutilizan aguas residuales para la producción agrícola (http://www.respyn.uanl.mx/i/3/ensayos/aguas_residuales._html).

Aguascalientes
Chihuahua
Cd. Juárez
Durango
Guadalajara
La Laguna
Monterrey
Morelia
Obregón
Puebla
Querétaro
Valle de Mezquital

Utilización de Aguas Residuales Urbanas para el Riego Forestal

Braatz y Kandiah (2004), mencionan que la utilización de aguas residuales urbanas para el riego de bosques y plantaciones de árboles es todavía relativamente limitada.

Más limitadas aún son las investigaciones sólidas, bien concebidas y sistemáticas que se han hecho sobre el tema. Sin embargo, se pueden dar algunos ejemplos de investigaciones que demuestran los beneficios del riego de bosques con aguas residuales y las diversas condiciones en que se puede practicar.

Beneficios de la Utilización de Aguas Residuales para el Riego

Braatz y Kandiah (2004), mencionan que entre los beneficios de la utilización de aguas residuales urbanas para el riego pueden señalarse el tratamiento y la eliminación de las aguas negras con bajos costos y de forma inocua; la conservación del agua y la reposición de las reservas freáticas; y la utilización de los nutrientes de las aguas residuales con fines de producción. El riego de los árboles podría añadirse a estos beneficios. Mientras en las zonas donde el agua es relativamente abundante, la finalidad principal del riego de cultivos o bosques puede ser el tratamiento o la eliminación de los desechos, en las zonas áridas y semiáridas, la reposición de las aguas freáticas y la producción agrícola y forestal pueden adquirir una importancia igual o mejor.

Descargas a suelo y cuerpos de agua

La NOM-001-SEMARNAT-1996 citada por Escalas (2006) establece los límites máximos permisibles en la descarga a suelo y agua en función de los tipos de cuerpos receptores establecidos en la Ley Federal de Derechos. En la descarga a río con “protección de la vida acuática” se establecen límites moderadamente

altos de demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) y sólidos suspendidos totales (SST) de 30 y 40 mg/l, respectivamente (promedios mensuales). En cambio, en la descarga a ríos calificados para “uso en riego agrícola” se establecen límites de 150 mg/L, tanto para DBO5 como para SST. Y para la descarga al suelo para riego agrícola, no se establecen límites de DBO5 ni de SST. Esto implica en la práctica que para algunas aguas residuales diluidas no se requeriría tratamiento alguno, o bastaría con una sedimentación primaria para cumplir con la normativa de descarga.

Sin embargo, y en contradicción con lo anterior, el límite de patógenos en todos los tipos de descarga se establece en un promedio mensual de 1000 NMP de CF/100 mL (número más probable de coliformes fecales por 100 mL): este límite sería probablemente excesivamente estricto para determinados cultivos y técnicas de riego. En cambio, resultaría demasiado permisivo para otros cultivos o técnicas de riego. De hecho, estas concentraciones de CF se consiguen normalmente tras un proceso secundario y una desinfección. Estas y otras cuestiones están siendo consideradas, y se preparan revisiones a las NOM en los próximos años.

La Calidad del Agua para Riego

La calidad del agua para riego está determinada por la concentración y composición de los constituyentes disueltos que contenga. Por lo tanto, la calidad del agua es una consideración importantísima para la investigación de las condiciones de salinidad o contenido de sodio intercambiable en cualquier zona de riego.

Características que Determinan la Calidad

Las características más importantes que determinan la calidad del agua para riego son: (1) La concentración total de sales solubles; (2) la concentración relativa del sodio con respecto a otros cationes; (3) la concentración de boro u otros elementos que puedan ser tóxicos; y (4) bajo ciertas condiciones, la concentración de bicarbonatos con relación a la concentración de calcio más magnesio.

Clasificación del agua para riego en función de la conductividad eléctrica y la relación de adsorción de sodio

Conductividad eléctrica

Richards (1960), menciona que la concentración total de sales solubles en las aguas de riego, para fines de diagnóstico y de clasificación, se puede expresar en términos de conductividad eléctrica, la cual se puede determinar en forma rápida y precisa.

Casi todas las aguas para riego que se han usado por mucho tiempo tienen una conductividad eléctrica menor de 2.250 dS/m. Ocasionalmente se usan aguas de mayor conductividad, pero las cosechas obtenidas no han sido satisfactorias, excepto en raras ocasiones.

Un suelo es salino cuando la conductividad de su extracto de saturación es mayor a 4 dS/m. Se ha encontrado que la conductividad eléctrica del extracto de saturación de un suelo, en ausencia de acumulación de sales provenientes del agua subterránea, es generalmente de 2 a 10 veces mayor que la correspondiente al agua con que se ha regado. Este aumento en la concentración de sales es el resultado de la extracción continua de la humedad por las raíces y por la evaporación. Por lo tanto el uso de aguas de moderada

y altamente salinas, puede ser la causa de que se desarrollen condiciones de salinidad, aun cuando el drenaje sea satisfactorio. En general, las aguas cuya conductividad eléctrica sea menor de 0.750 dS/m. Son satisfactorias para el riego por lo que respecta a sales, a un cuando los cultivos sensibles pueden ser afectados adversamente cuando se usan aguas cuya conductividad varié entre 0.25 y 0.75 dS/m.

Las aguas cuya conductividad eléctrica varia entre 0.75 y 2.25 dS/m. Son comúnmente utilizadas, obteniéndose con ellas crecimiento adecuado de las plantas, siempre y cuando haya un buen manejo de la tierra y un drenaje eficiente; sien embargo, las condiciones de salinidad se presentaran si el lavado y el drenaje no son adecuados. El empleo de aguas con conductividad eléctrica mayor de 2.25 dS/m. Es una excepción y rara vez se obtienen buenos resultados. Únicamente los cultivos más tolerantes a las sales se pueden desarrollar bien cuando se riegan con este tipo de agua y siempre que se aplique agua en abundancia y el drenaje del subsuelo sea adecuado.

Relación de adsorción de sodio (RAS)

Richards (1960), menciona que los constituyentes inorgánicos solubles de las aguas de riego reaccionan con los suelos en forma iónica. Los principales cationes son calcio, magnesio y sodio, con pequeñas cantidades de potasio. Los aniones principales son carbonatos, bicarbonatos, sulfatos y cloruros y, en menor cantidad, nitratos y fluoruros, El peligro de la sodificación que entraña el uso de una agua de riego, queda determinado por las concentraciones absoluta y relativa de los cationes. Si la proporción de sodio es alta, será mayor el peligro de sodificación y, al contrario, si predominan el calcio y el magnesio, el peligro es menor. La importancia de los constituyentes catiónicos de una agua de riego con relación a las propiedades físicas y químicas del suelo, se reconoció mucho antes de que las reacciones del intercambio catiónico fueran bien comprendidas.

El resultado de varios experimentos para recuperación de suelos sodicos, diciendo que “las aguas duras hacen tierras blandas y las aguas blandas las endurecen”. Los suelos sodicos se forman por acumulación de sodio intercambiable y con frecuencia se caracterizan por su baja permeabilidad y difícil manejo, la proporción relativa del sodio con respecto a otros cationes en el agua de riego, se expresaba en términos del por ciento de sodio soluble. La relación de adsorción de sodio (RAS) en una solución del suelo, se relaciona con la adsorción de sodio y, en consecuencia, esta relación puede usarse como “índice de sodio” o “del peligro de sodificación que tiene dicha agua”. Esta relación es la siguiente:

$$RAS = Na / \sqrt{(Ca^{++} + Mg^{++})/2}$$

En la cual, Na⁺⁺, Ca⁺⁺ y Mg⁺⁺ representan las concentraciones en mili equivalentes por litro de los iones respectivos.

Cuadro No. 7 Clasificación del agua en función de la conductividad eléctrica (dS/m)

SALINIDAD		
Código	Intervalo de valor de conductividad eléctrica (dS/m)	Clase
C1	0.100-0.250	Baja
C2	0.251-0.750	Media
C3	0.751-2.250	Alta
C4	2.251-5.000	Muy alta

Cuadro No. 8 Clasificación del agua en función de la Relación de Adsorción de Sodio (meq/L)

SODICIDAD		
Código	Intervalo de valor de Relación de Adsorción de Sodio (meq/L)	Clase
S1	0.00 – 10.00	Baja
S2	10.01 – 18.00	Media
S3	18.01 – 26.00	Alta
S4	> 26	Muy alta

Richards interpreta su clasificación de la siguiente manera:

Agua de Baja Salinidad (C1): Puede usarse para riego de la mayor parte de los cultivos, en casi cualquier tipo de suelo con muy poca probabilidad de que se desarrolle salinidad. Se necesita algún lavado, pero éste se logra en condiciones normales de riego, excepto en suelos de muy baja permeabilidad.

Agua de salinidad Media (C2): Puede usarse siempre y cuando haya un grado moderado de lavado. En casi todos los casos y sin necesidad de prácticas especiales de control de la salinidad, se pueden producir las plantas moderadamente tolerantes a las sales.

Agua altamente salina (C3): No debe usarse en suelos cuyo drenaje sea deficiente. Aun con drenaje adecuado se pueden necesitar prácticas especiales de control de la salinidad debiendo, por tanto, seleccionarse únicamente aquellas especies vegetales muy tolerantes a sales.

Agua muy Altamente Salina (C4): No es apropiada para riego bajo condiciones ordinarias, pero puede usarse ocasionalmente en circunstancias muy especiales. Los suelos deben ser permeables, el drenaje adecuado, debiendo aplicarse un exceso de agua para lograr un buen lavado. En este caso, se deben seleccionar cultivos altamente tolerantes a sales.

Agua Baja en Sodio (S1): Puede usarse para el riego en la mayoría de los suelos con poca probabilidad de alcanzar niveles peligrosos de sodio intercambiable. No obstante, los cultivos sensibles, como algunos frutales y aguacates, pueden acumular cantidades perjudiciales de sodio.

Agua Media en Sodio (S2): En suelos de textura fina el sodio representa un peligro considerable, más aun si dichos suelos poseen una alta capacidad de intercambio de cationes, especialmente bajo condiciones de lavado deficiente, a

menos que el suelo contenga yeso. Estas aguas solo deben usarse en suelos de textura gruesa o en suelos orgánicos de buena permeabilidad.

Agua Alta en Sodio (S3): Puede producir niveles tóxicos de sodio intercambiable en la mayor parte de los suelos, por lo que éstos necesitarán prácticas especiales de manejo, buen drenaje, fácil lavado y adiciones de materia orgánica. Los suelos pueden no desarrollar niveles perjudiciales de sodio intercambiable cuando se riega con este tipo de aguas. Puede requerirse el uso de mejoradores químicos para substituir al sodio intercambiable; sin embargo, tales mejoradores no serán económicos si se usan aguas de muy alta salinidad.

Agua Muy Alta en sodio (S4): Es inadecuada para riego, excepto cuando su salinidad es baja o media y cuando la disolución del calcio del suelo y/o la aplicación de yeso u otros mejoradores no hace antieconómico el empleo de esta clase de aguas.

Clasificación del Agua para Riego Hecha en Chapingo Según Aguilera y Martínez (1996)

1º.- Contenido de sales solubles: El efecto nocivo de las sales solubles, se debe a que produce presiones osmóticas en la solución del suelo que esta en contacto con las raíces de la planta, las cuales, al pasar de ciertos valores producen una disminución en los rendimientos o perdida total de la cosecha.

Los índices que se consideran para este criterio son los siguientes:

Conductividad Eléctrica (CE): La conductividad eléctrica es una medida indirecta del contenido de sales disueltas en el agua y es muy utilizada debido a que las determinaciones se pueden hacer muy rápidamente con bastante precisión.

Salinidad Efectiva (SE): Esta es una estimación mas real del peligro que presentan las sales solubles del agua de riego al pasar a formar parte de la solución del suelo, pues considera la precipitación ulterior de las sales menos solubles (Carbonatos de Calcio y Magnesio así como Sulfato de calcio) las cuales dejan de participar en la elevación de la presión osmótica de la solución del suelo.

Para clasificar el agua en función de este parámetro como se emplea el cuadro No.9

Cuadro No.9 Clasificación del agua por su Salinidad Efectiva

Clase	Salinidad efectiva (me. /l)
Buena	<3.0
Condicionada	3.0-15.0
No recomendable	>15.0

La salinidad efectiva se calcula con las siguientes formulas bajo las condiciones que se indican:

Si $Ca > (CO_3 + HCO_3 + SO_4)$, entonces:

$$SE = \text{Suma de cationes}^* - (CO_3 + HCO_3 + SO_4)$$

Si $Ca < (CO_3 + HCO_3 + SO_4)$, pero $Ca > (CO_3 + HCO_3)$, entonces:

$$SE = \text{Suma de cationes}^* - Ca$$

Si $Ca < (CO_3 + HCO_3 + SO_4)$, pero $(Ca + Mg) > (CO_3 + HCO_3)$, entonces:

$$SE = \text{Suma de cationes}^* - (CO_3 + HCO_3)$$

Si $(Ca + Mg) < (CO_3 + HCO_3)$, entonces:

$$SE = \text{Suma de cationes}^* - (Ca + Mg)$$

* Si la suma de cationes es menor que la de aniones, deberá emplearse la suma de aniones en lugar de la de cationes.

Todos los iones se expresan en me. /l.

Salinidad Potencial (SP): Cuando la humedad aprovechable de un suelo es menor del 50%, las últimas sales que quedan en solución son cloruros y

sulfatos. La salinidad potencial es un índice para estimar el peligro de éstas y que por consiguiente aumentan la presión osmótica. La clasificación del agua de este índice muestra el cuadro No.10.

Este índice se calcula con la fórmula siguiente:

SP = Cl.+ ½ SO₄ Todos los conceptos se expresan en me. /l.

Cuadro No. 10 Clasificación del agua de riego según su salinidad potencial

Clase	Salinidad Potencial (me. /l)
Buena	<3
Condicionada	3-15
No recomendable	>15

2º.- Efecto probable del sodio sobre las propiedades físicas del suelo.

Cuando la concentración de sodio en la solución del suelo es elevada en relación con la de los otros cationes disueltos, se provoca la dispersión o la defloculación dicho suelo y como consecuencia pierde su estructura. Esto puede ejercer efectos secundarios importantes sobre el desarrollo vegetal ya que la pérdida de la estructura causa una aereación y permeabilidad deficientes así como una baja disponibilidad de agua. Para estimar este efecto se han propuesto los siguientes índices:

Relación de Adsorción de sodio (RAS): Este índice esta correlacionado con el or ciento de sodio intercambiable que tendrá el suelo una vez que se equilibre con el agua. Es te índice se calcula con la siguiente formula:

$$RAS = Na / \sqrt{(Ca^{++} + Mg^{++})/2}$$

Los valores de Na, Ca y Mg se expresan en me. /l y los valores de RAS en (me. /l)^{1/2}

Carbonato de Sodio residual (CSR): Cuando en el agua de riego el contenido de carbonatos y bicarbonatos es mayor que calcio mas magnesio, existe la probabilidad de que se forme carbonato de sodio debido a que por su alta solubilidad puede permanecer en solución, aún después de que ha precipitado

los carbonatos de calcio y magnesio. El CSR se calcula con la siguiente fórmula:

$$\text{CSR} = (\text{CO}_3 + \text{HCO}_3) - (\text{Ca} + \text{Mg})$$
 todos los conceptos se expresan en me. /l

Este índice de clasificación se muestra en el cuadro No. 11 para los diferentes tipos de agua.

Cuadro No. 11 Clasificación del agua de riego según el contenido de Carbonato de Sodio residual.

Clase	Valores de CSR
Buena	<1.25
Condicionada	1.25-2.50
No recomendable	>2.50

c) Por ciento de Sodio Posible (PSP): El peligro de desplazamiento de calcio y del magnesio por el sodio, en el complejo de intercambio, empieza cuando el contenido de sodio en solución representa más del 50% de cationes disueltos. La fórmula para calcular este índice es la siguiente:

$$\text{PSP} = (\text{Na}/\text{SE}) * 100.$$

3º.- Contenido de elementos tóxicos para las plantas.

Dentro de los elementos que contienen en solución las aguas de riego, existen algunos que independientemente de los efectos anteriores, son tóxicos para las plantas, aún en pequeñas cantidades. Los que más se presentan son:

a) Contenido de Boro (B): El Boro en pequeñísimas concentraciones es esencial para el desarrollo de las plantas, sin embargo a concentraciones mayores, les produce efectos tóxicos. Se emplea el cuadro No.12 para clasificar el agua en función de este parámetro expresado en ppm.

Cuadro No. 12 Clasificación del agua de riego de acuerdo a su contenido de Boro

Clase	Contenido de Boro (ppm)
Buena	<0.3
Condicionada	0.3-4.0
No recomendable	>4.0

b) Contenido de Cloruros (Cl):

El ión cloruro es tóxico especialmente en árboles frutales. Se muestran límites para clasificar el agua cuadro No.13

Cuadro No.13 Clasificación del agua de riego por el contenido de cloruros

Clase	Contenido de cloruros (me. /l)
Buena	<1.00
Condicionada	1.00-5.00
No recomendable	>5.00

Aguilera y Martínez, los criterios que proponen para determinar la calidad del agua se menciona en el cuadro 14

Cuadro No. 14 criterios e índices de clasificación del agua de riego.

Contenido de sales solubles	a) conductividad Eléctrica b) Salinidad Efectiva c) Salinidad Potencial	CE SE SP
Efecto probable del sodio sobre las propiedades físicas del suelo	a) Relación de adsorción de sodio. b) Carbonato de Sodio residual. c) Por ciento de Sodio Posible	RAS CSR PSP
Contenido de elementos tóxicos para las plantas	a) Contenido de Boro b) Contenido de Cloruros	B Cl.

P14-95 N 997 variedad 2005

Altura:1.40 mts

Panoja: 22,18,17,13,,14 cm.

6065 kg. Ha

P11-95 N754 variedad 2005

Altura:1.30 mts

Panoja: 17,10,,14,16,18,cm.

4900 kg. Ha. Temporal

P8-95 N755 variedad 2005

Altura:1.25 mts

Panoja: 17, 12, 11,15 cm.

6106 kg. Ha temporal

100 cajas petri con tapa, de 100 x 15mm y estériles.

Papel estraza recortados a la medida de las cajas petri.

Metodología.

1.- En primer lugar se recolectó una muestra de agua para elaborar las diferentes concentraciones (100, 75 , 50 , 25 y 0 por ciento(testigo)) por lo cual se diluyo con agua destilada mediante aforo.

2.- Una vez preparadas las concentraciones se procedió a preparar cajas petri para poder sembrar.

3.- La siembra se llevo acabo el 27 de septiembre del 2006 se coloco papel estraza en parte inferior de la cajas petri y 20 semillas de sorgo para cada tratamiento con cuatro repeticiones,se humedecieron las semillas con las diferentes concentraciones de agua residual colocando en la parte superior papel estraza, con la finalidad de impedir que la luz estuviera en contacto con las semillas ,simulando lo que ocurre en el suelo.

4.- Una vez sembradas, se procedieron a revisar las cajas petri e ir contando el número de semillas germinadas, también ir agregando agua a las cajas petri que se vaya absorbiendo.

Durante el periodo de germinación se analizó la calidad agronómica del agua residual y la DQO, con la colaboración del personal encargado del Laboratorio de Calidad de Aguas del Departamento de Riego y Drenaje.

Diseño Experimental.

El diseño experimental que se utilizó fue completamente al azar con dos factores y 4 repeticiones para cada tratamiento. Considerando al factor A variedades de semillas y al factor B concentraciones de agua residual.

Debido a que los porcentos de germinación no corresponden a distribuciones normales, los datos se transformaron para normalizarlos mediante la función:

$$D = \text{arcseno}\sqrt{P}$$

Donde:

D = Dato transformado (Normal)

P = porcentaje de germinación en valor decimal.

Los datos transformados se analizaron con la ayuda de un paquete estadístico de la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL) considerando un margen del 95% de seguridad, (0.05 de significancia). el diseño experimental utilizado fue completamente al azar con dos factores y cuatro repeticiones para cada tratamiento. Considerando al factor A las variedades de semillas y al factor B diferentes concentraciones de agua residual. Después de haber procesado el análisis los datos se destransformaron para presentar los resultados obtenidos.

Variables Evaluadas

Los parámetros de observación de este trabajo son: Porcentaje de germinación, en cada variedad de sorgo y para cada tratamiento de agua residual.

- a) Concentraciones de aguas residuales.
- b) Calidad agronómica del agua de riego.
- c) Demanda química del oxígeno (DQO).

En el cuadro anterior se indican los valores del testigo en este caso fue el agua destilada como traza, debido a que los elementos existen pero en cantidades muy pequeñas.

El cuadro No. 17 se muestra el resumen de la calidad agronómica del agua según los parámetros utilizados por Richards, para las diferentes concentraciones, se puede observar en la concentración (0% testigo) no se menciona, debido a que no se puede determinar, siendo valores del sodio, calcio, magnesio muy pequeñas los cuales entra en la clasificación C1,S2.

Cuadro No.17 clasificación de la calidad agronómica de cada una de las Concentraciones.

Concentración (%)	CE (dS/m)	RAS	Clasificación
100	0.904	4.108	C3-S1-agua altamente salina,baja en sodio
75	0.678	3.081	C2-S1-agua de salinidad media,baja en sodio
50	0.452	2.054	C2-S1-agua de salinidad media,baja en sodio
25	0.226	1.027	C1-S1-agua de baja salinidad,baja en sodio
Testigo	0.0032		C1-S1-agua de baja salinidad,baja en sodio

Demanda Química de Oxígeno (DQO)

(<http://www.zaragoza.es/azar/ayto/normas/anexo/ANEXAGUA.pdf>),menciona que la demanda química de oxígeno: es la cantidad de oxígeno, expresada en miligramos de oxígeno por litro consumido por la oxidación

Se determinó la Demanda Química de Oxígeno del agua residual obteniendo un valor 243.04 ppm.

Porcentajes De Germinación Obtenidos de cada Prueba

En el cuadro 18 se mencionan los porcentajes de germinación observados en la prueba de cada variedad con sus respectivos tratamientos y repeticiones.

Cuadro No 18 porcentajes de germinación observados de cada prueba.

1.- 95 N 756 VARIEDAD 2005

Repetición 1	40	70	85	70	100
Repetición 2	65	65	75	55	100
Repetición 3	75	75	75	90	100
Repetición 4	35	55	90	55	100
promedio	53.75	66.25	81.25	66.25	100

2.- 95 N 746 VARIEDAD 2005

Repetición 1	25	100	70	70	95
Repetición 2	45	85	85	75	100
Repetición 3	50	95	80	90	95
Repetición 4	70	80	80	40	100
promedio	47.5	90	78.75	68.75	97.5

3.- 95 N 997 VARIEDAD 2005

Repetición 1	90	95	95	100	100
Repetición 2	100	95	100	95	95
Repetición 3	100	95	100	95	100
Repetición 4	80	100	100	95	100
promedio	92.5	96.25	98.75	96.25	100

4.- 95 N754 VARIEDAD 2005

Repetición 1	85	95	95	100	100
Repetición 2	100	85	80	100	100
Repetición 3	95	100	95	100	100
Repetición 4	90	100	100	100	95
promedio	92.5	95	92.5	100	98.75

5.- 95N755 VARIEDAD 2005

Repetición 1	50	95	100	70	100
Repetición 2	80	95	90	95	100
Repetición 3	0	95	95	100	100
Repetición 4	100	80	90	100	100
promedio	57.5	91.25	93.75	91.25	100

En la Figura No. 1 Se muestran los valores del cuadro anterior manifestándose el siguiente comportamiento.

Variedad 1: 95N756 variedad 2005 variedad 2:95N746 variedad 2005
Variedad 3: 95N 997 variedad 2005 variedad 4: 95N754 variedad 2005
Variedad 5: 95 N755 variedad 2005

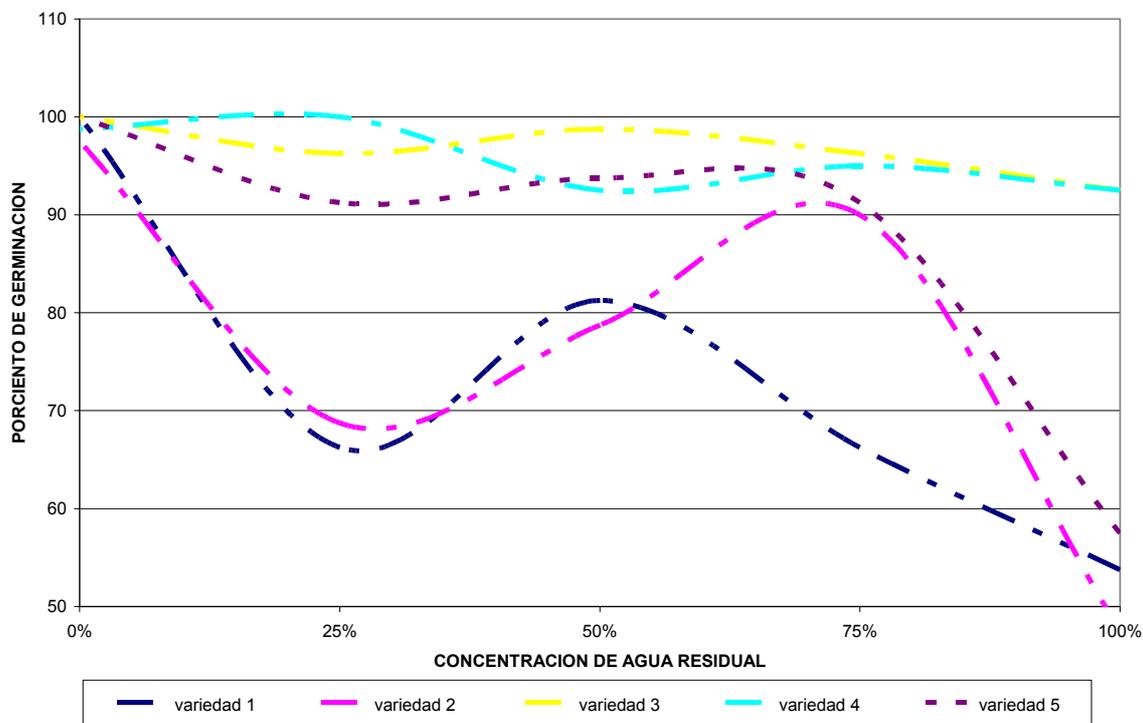


Figura No. 2 comportamiento de las concentraciones vs variedades.

En esta figura muestra las respuestas de las variedades a las diferentes concentraciones de agua residual que se aplicaron. en todas las variedades muestran un incremento significativo en los por ciento de germinación , a excepción de la variedad 1 y 2 los cuales se observan un ligero decremento al ser tratados con el 25 por ciento de la concentración de agua residual , lo cual sea probable que se deba a la variedad que no es resistente a sales.

Días de germinación

Datos tomados a partir de que comenzaron las semillas a germinar hasta que se considero que ya no iba a germinar después de cierto periodo obteniendo resultados mostrados en las graficas 2, 3, 4, 5, 6, se que muestran a continuación :

1.- 95 N 756 VARIEDAD 2005

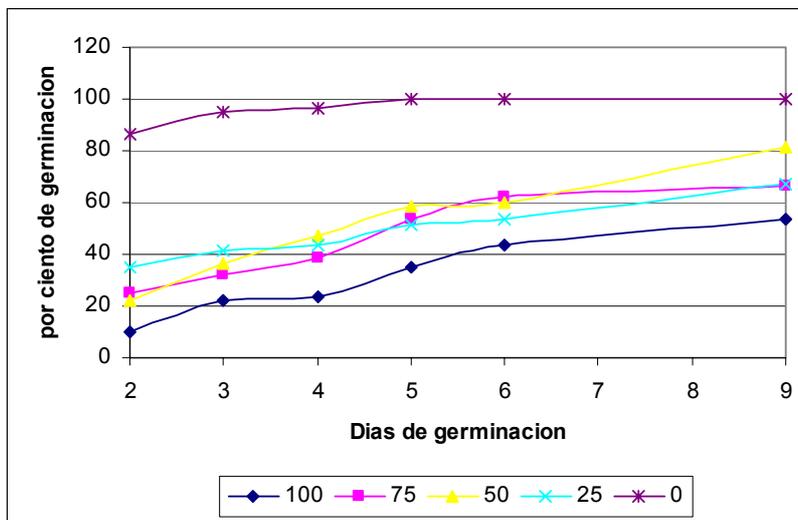


Figura No. 3 Días de germinación del 95 N756 variedad 2005

En la Figura 2 se comparan las concentraciones que se aplicaron, se observa que el testigo alcanza su máximo porcentaje de germinación al quinto día, mientras que las demás concentraciones alcanzan al sexto día, con respecto al testigo atrasó un día el nivel máximo de germinación.

2.- 95 N 746 VARIEDAD 2005

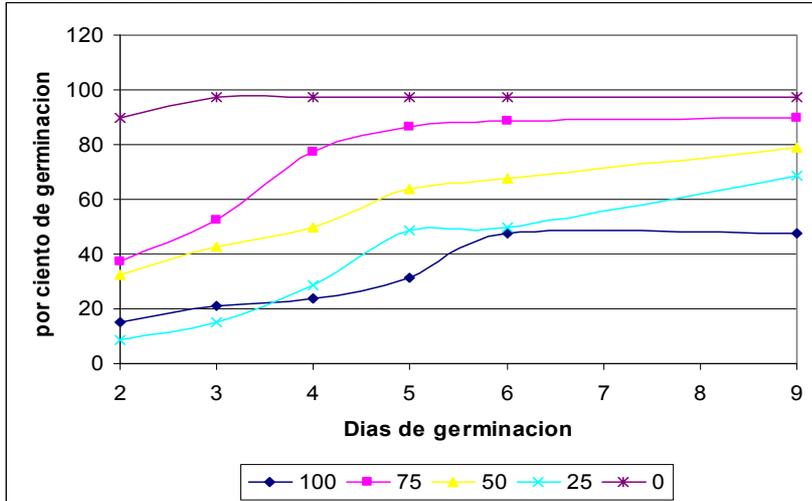


Figura No. 4 Días de germinación del 95 N 746 variedad 2005.

En esta Figura se comparan las concentraciones aplicadas. Estos resultados muestran la disminución que originan los tratamientos con agua residual, al igual se observa que el tratamiento testigo alcanzó su máximo porcentaje de germinación al tercer día, mientras que las demás concentraciones lo alcanzan después.

3.- 95 N 997 VARIEDAD 2005

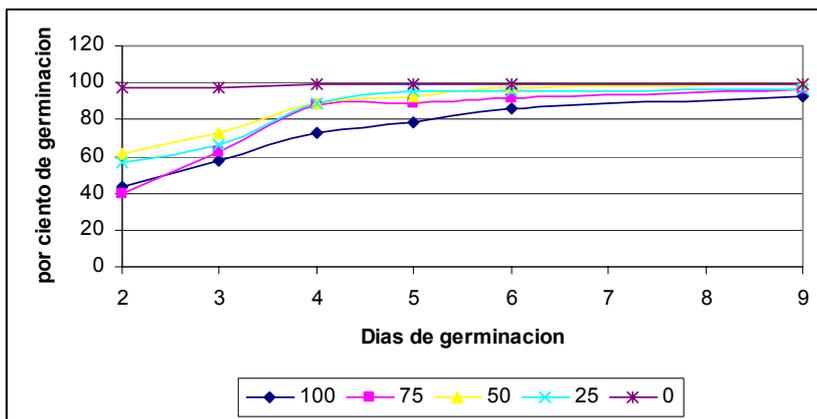


Figura No. 5 Días de Germinación del 95 N 997 variedad 2005

En esta variedad muestra un alto porcentaje de germinación por lo cual es recomendable regar con la concentración del 75 por ciento y se ahorraría agua limpia, se puede decir que esta variedad es resistente a sales.

4.- 95 N 754 VARIEDAD 2005

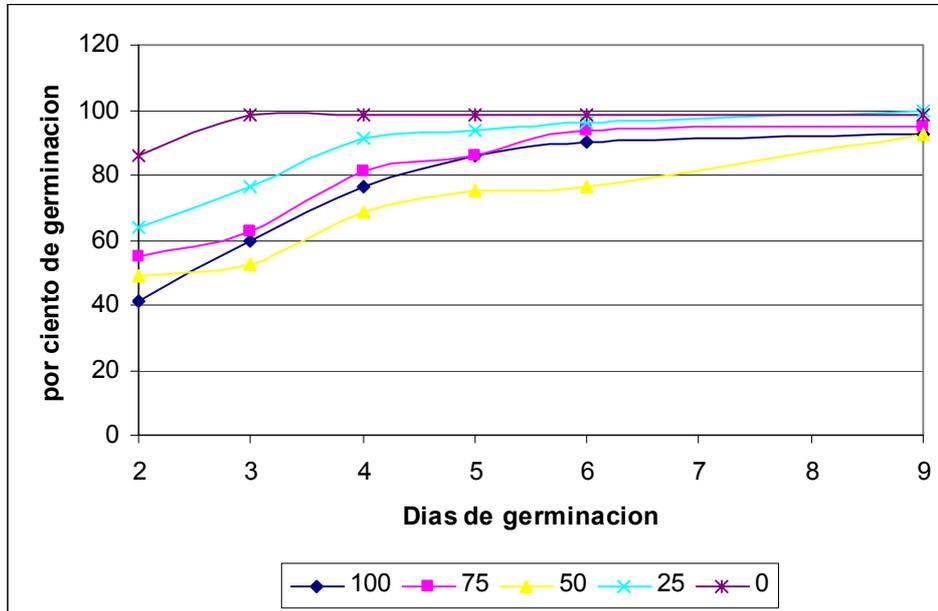


Figura No. 6 Días de Germinación del 95 N754 variedad 2005

En esta variedad, al igual que la variedad 3 son muy resistentes a sales ya que todas de las concentraciones obtuvieron un buen porcentaje de germinación, se puede decir que hay una respuesta favorable con respecto a las concentraciones del agua residual aplicado.

5.- 95 N 755 VARIEDAD 2005

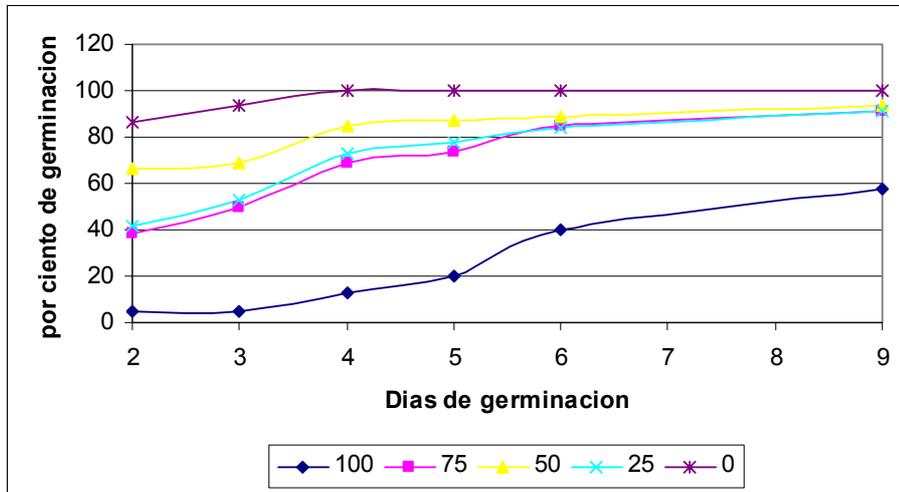


Figura No. 7 Días de Germinación 95 N755 variedad 2005

En esta Figura se observa que todas las concentraciones alcanzan un máximo porcentaje de germinación, mientras el testigo lo alcanza el cuarto día, mientras que la concentración del 100 por ciento lo obtuvo al sexto día, hubo una respuesta favorable en las concentraciones del 25, 50, 75 por ciento.

Análisis de varianza y comparación de medias (Tukey)

Los datos se transformaron para poder ser analizados analíticamente tal y como se menciona en el diseño experimental.

Cuadro No. 19 Datos Transformados

1. 95 N 756 2005 VARIEDAD

tratamientos	100%	75%	50%	25%	0%
repeticion 1	39.2315205	56.7891	67.214	53.7288	90
repeticion 2	53.7288016	53.7288	60.000	47.8696	90
repeticion 3	60	60.0000	60.000	71.5651	90
repeticion 4	46.7199064	47.8696	71.565	47.8696	90

2.- 95 N 746 VARIEDAD 2005

tratamientos	100%	75%	50%	25%	0%
repeticion 1	30	90	56.7891	67.2135	77.0790
repeticion 2	42.1304	67.2135	67.2135	60	90
repeticion 3	45	77.0790	63.4349	71.5651	77.0790
repeticion 4	56.7891	63.4349	63.4349	39.2315	90

3.- 95 N 997 VARIEDAD 2005

tratamientos	100%	75%	50%	25%	0%
repeticion 1	71.5651	77.0790	77.0790	90	90
repeticion 2	90	77.0790	90	77.0790	77.0790
repeticion 3	90	77.0790	90	77.0790	90
repeticion 4	63.4349	90	90	77.0790	90

4.- 95 N754 VARIEDAD 2005

tratamientos	100%	75%	50%	25%	0%
repeticion 1	67.2135	77.0790	77.0790	90	90
repeticion 2	90	67.2135	63.4349	90	90
repeticion 3	77.0790	90	77.0790	90	90
repeticion 4	71.5651	90	90	90	77.0790

5.- 95 N755 VARIEDAD 2005

tratamientos	100%	75%	50%	25%	0%
repeticion 1	45	77.0790	90	56.7891	90
repeticion 2	63.4349	77.0790	71.5651	77.0790	90
repeticion 3	0	77.0790	77.0790	90	90
repeticion 4	90	63.4349	71.5651	90	90

Al transformar los datos aumentan un poco y otros disminuyen, lo cual permite que los datos se distribuyan mejor y el coeficiente de variación disminuya.

En el cuadro No. 20 se muestra el analisis de los datos transformados obteniendo los siguientes resultados.

Cuadro No. 20 Análisis de varianza

FV	GL	SC	CM	F	P>F
FACTOR A	4	6960.812500	1740.203125	13.0399	0.000
FACTOR B	4	7729.500000	1932.375000	14.4799	0.000
INTERACCION	16	4478.187500	279.886719	2.0973	0.017
ERROR	75	10008.937500	133.452499		
TOTAL	99	29177.437500			

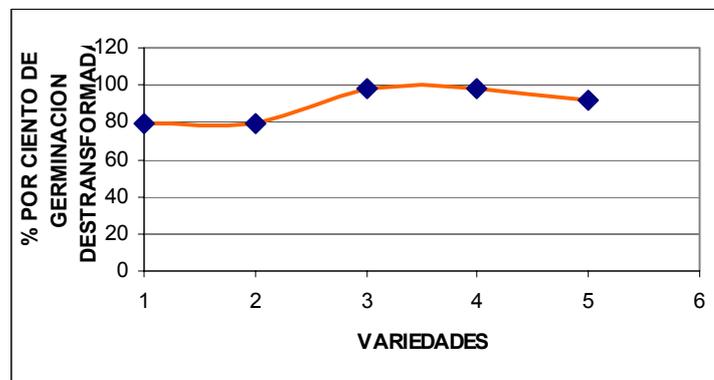
C.V = 15.77%

Al utilizar el 95% de seguridad si existe diferencia significativa en cada uno de los comportamientos de las variedades.

También se puede decir que al utilizar el 95% si existe diferencia significativa entre las concentraciones que se aplicaron.

En la Figura No.8 Se muestran los valores medios de los porcentajes de germinación de las cinco variedades utilizadas.

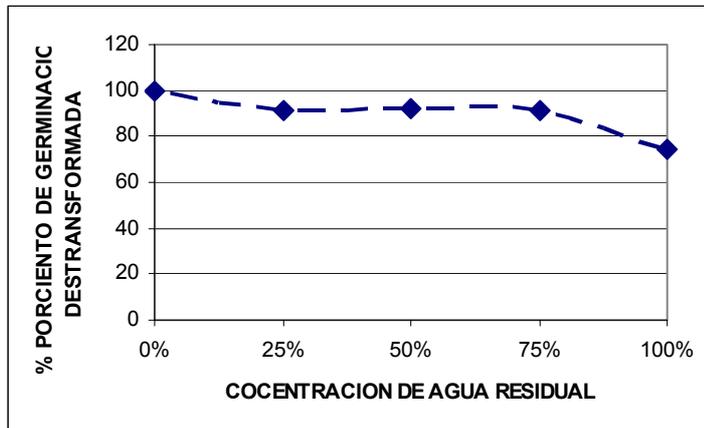
Figura No. 8 medias del factor A



La Figura de medias del factor A corresponde a las variedades. Lo cual muestra que el mayor porcentaje de germinación que se obtuvo durante la prueba fueron en la variedad 3 y 4, las cuales respondieron mejor en las concentraciones de agua residual, mientras que las variedades 1 y 2 fueron las mas afectadas.

En la Figura No.9 se muestran los valores medios de los porcentajes de germinación obtenidos y de las cinco concentraciones utilizadas.

Figura No. 9 Medias del factor B



El factor B corresponde a las concentraciones que se aplicaron. La Figura se muestra que el porcentaje de germinación disminuye muy poco conforme aumenta la concentración de agua residual, de esta manera se demuestra que la concentración de agua residual poco lo que afecta en la germinación del sorgo.

Comparación de medias con Tukey

Factor A: variedades

1.-95N756 variedad 2005

2.-95N746 variedad 2005

3.-95N 997 variedad 2005

4.-95N754 variedad 2005

5.-95 N755 variedad 2005

Factor B: concentraciones de agua residual

1= 100 por ciento

2= 75 por ciento

3= 50 por ciento

4= 25 por ciento

5= 0 por ciento

Las comparaciones de medias de la concentración de agua residual (factor B) se muestran en el siguiente cuadro.

Cuadro N. 21 Comparación de medias del factor B

tratamiento	medias	destransformada	clase
5	87.4158	99.79671166	A
3	73.7266	92.14761453	B
2	72.8158	91.27124828	B
4	72.7074	91.164151	B
1	59.6446	74.46090309	C

La concentración del testigo no forma grupo con las demás concentraciones, lo cual se puede decir que es la mejor, le sigue la concentración de 25, 50 y 75 por ciento las cuales forman un grupo, siendo independiente la concentración del 100 por ciento ya que fue baja, por lo tanto no es recomendada.

En el siguiente cuadro se muestra la comparación de medias de concentración de agua residual con respecto a la variedad 1.

Cuadro No.22 Comparación de medias del factor B dentro del nivel 1 del factor A.

tratamiento	medias	destransformada	clase
3	90	100	A
4	64.6946	81.72924225	A
5	55.2582	67.52377372	AB
2	54.5969	66.43822267	BC
1	49.92	58.54487011	C

Para la variedad 1 del 95 N756 variedad 2005, el por ciento de germinación es significativo. Las concentraciones de 25, 50, 0 por ciento forman un solo grupo siendo mejor los primeros grupos, la concentración del 0 por ciento forma grupo

con la de 75 por ciento, siendo el 75 por ciento forma parte con la de 100 por ciento ,siendo estas las mas afectadas.

En el siguiente cuadro se muestra la comparación de medias de concentración de agua residual con respecto a la variedad 2

Cuadro No. 23 Comparación de medias del factor B dentro del nivel 2 del factor A.

tratamiento	medias	destransformada	clase
5	83.5395	98.73396516	A
2	74.4319	92.79702816	AB
3	62.7181	78.9898031	ABC
4	59.5025	74.24429717	BC
1	43.4799	47.34816979	C

En la variedad 2 del 95 N746 variedad 2005, la mejor concentración es el testigo, formando grupo con la concentración de 50 y 75 por ciento, lo cual la concentración de 25, 50, 75 por ciento forman un solo grupo, siendo las mas afectadas las concentraciones 25, 50, 100 por ciento

En el siguiente cuadro se muestra la comparación de medias de concentración de agua residual con respecto a la variedad 3.

Cuadro No.24 Comparación de medias del factor B dentro del nivel 3 del factor A.

tratamientos	medias	destransformada	clase
3	86.7698	99.68249294	A
5	86.7698	99.68249294	A
4	80.3093	97.16652191	A
2	80.3092	97.16646399	A
1	78.75	96.19397663	A

En la variedades 3 del 95 N997 variedad 2005, muestra que todas las concentraciones forman un solo grupo, se puede decir que es resistente a sales.

En el siguiente cuadro se muestra la comparación de medias de concentración de agua residual con respecto a la variedad 4

Cuadro No.25 Comparación de medias del factor B dentro del nivel 4 del factor A.

tratamientos	medias	destransformada	clase
4	90	100	A
5	86.7698	99.68249294	A
2	81.0731	97.59209645	A
3	76.8992	94.86230201	A
1	76.4644	94.5220837	A

En la variedad 4 del 95 N754 variedad 2005, muestra que al igual que la variedad 3 las concentraciones de agua residual forman un solo grupo se puede decir que la variedad es resistente a guas residuales y a las sales

En el siguiente cuadro se muestra la comparación de medias de concentración de agua residual con respecto a la variedad 5.

Cuadro No.26 Comparación de medias del factor B dentro del nivel 5 del factor A.

tratamientos	medias	destransformada	clase
5	90	100	A
4	78.467	96.00270764	A
3	77.5523	95.35389071	A
2	73.668	92.09250294	A
1	49.6087	58.00904805	B

La variedad 5 del 95 N755 variedad 2005, muestra que todas las concentraciones respondieron al agua residual, a excepción de la concentración del 100 por ciento que es bajo y forma un grupo independiente.

En el cuadro que se muestra se observa la comparación de medias de las cinco variedades de sorgo.

Cuadro No. 27 Comparación de medias del factor A

tratamiento	medias	destransformada	clase
3	82.5816	98.33295606	A
4	82.2411	98.17736921	A
5	73.8592	92.27166959	AB
2	64.7344	81.78289717	BC
1	62.894	79.23938967	C

La variedad que mejor respondió a las concentraciones del agua residual es la variedad 3, siguiéndole la variedad 4, 5. La variedad 1 es la mas afectada.

En el siguiente cuadro se menciona la comparación de medias de las variedades de sorgo con respecto a la concentración del 100 por ciento de agua residual.

Cuadro No.28 Comparación de medias del factor A dentro del nivel 1 del factor B.

tratamientos	medias	destransformada	clase
3	78.75	96.19397663	A
4	76.4644	94.5220837	A
1	49.92	58.54487011	B
5	49.6087	58.00904805	B
2	43.4799	47.34816979	B

En la concentración del 100 por ciento se comporta de la siguiente manera. La variedad 3, 4, siguiéndole la variedad 1, 5, la variedad 2 siendo la mas afectada.

En el siguiente cuadro se menciona la comparación de medias de las variedades de sorgo con respecto a la concentración del 75 por ciento de agua residual

Cuadro No. 29 Comparación de medias del factor A dentro del nivel 2 del factor B.

tratamientos	medias	destransformada	clase
4	81.0731	97.59209645	A
3	80.3092	97.16646399	A
2	74.4319	92.79702816	AB
5	73.668	92.09250294	AB
1	54.5969	66.43822267	B

En la concentración del 75 por ciento, existen 4 variedades que se comportan de la misma manera siendo las variedades 4, 3, 2, 5, mientras que la variedad 1 es la mas afectada.

En el cuadro siguiente se menciona la comparación de medias de las variedades de sorgo con respecto a la concentración del 50 por ciento de agua residual.

Cuadro No. 30 Comparación de medias del factor A dentro del nivel 3 del factor B.

tratamientos	medias	destransformada	clase
3	86.7698	99.68249294	A
5	77.5523	95.35389071	AB
4	76.8982	94.86153136	AB
1	64.6946	81.72924225	AB
2	62.7181	78.9898031	B

La concentración del 50 por ciento mostraron los siguientes resultados, las mas favorables son la variedad 3, 5, 4,, siendo la variedad 2 la mas afectada.

En el siguiente cuadro se menciona la comparación de medias de las variedades de sorgo con respecto a la concentración del 25 por ciento de agua residual.

Cuadro No.31 Comparación de medias del factor A dentro del nivel 4 del factor B.

tratamientos	medias	destransformada	clase
4	90	100	A
3	80.3093	97.16652191	AB
5	78.467	96.00270764	AB
2	59.5025	74.24429717	BC
1	55.2582	67.52377372	C

La concentración del 25 por ciento se comportan de la siguiente manera, las respuestas mas favorables fueron las variedades 4, 3, 5, siendo las mas afectadas la variedad 2 y 1.

En el siguiente cuadro se menciona la comparación de medias de las variedades de sorgo con respecto al testigo.

Cuadro No. 32 Comparación de medias del factor A dentro del nivel 5 del factor B.

tratamientos	medias	destransformada	clase
1	90	100	A
5	90	100	A
4	86.7698	99.68249294	A
3	86.7698	99.68249294	A
2	83.5395	98.73396516	A

En el testigo en las 5 variedades se comportaron de la misma manera donde forman un solo grupo.

INTRODUCCIÓN

Las aguas residuales depuradas constituyen un recurso hidráulico importante en las zonas con alta densidad de población en las que hay problemas de falta de agua, una idea del interés de la reutilización agrícola se demuestra en cifras muy elevadas. Para valorar la calidad de las aguas residuales para el riego localizado o los cultivos hidropónicos se emplean los mismos criterios que para las aguas superficiales o subterráneas, es decir, su contenido en sales y en elementos potencialmente fitotóxicos (sodio, cloruro y boro). Pero, además, hay que tener en cuenta que el contenido en microorganismos patógenos y la concentración de metales pesados, nutrientes y compuestos orgánicos, no suelen presentar problemas en el riego con agua normal.

En México sólo el 16 por ciento de los 231 metros cúbicos de aguas residuales que se generan por segundo en México son tratados para su reuso.

El agua es uno de los más importantes restrictores del desarrollo social y económico del hombre. Su escasez y su contaminación amenazan aspectos fundamentales de la seguridad humana, a saber:

- ❖ El equilibrio del medio acuático,
- ❖ La producción de alimentos,
- ❖ La salud pública, y la estabilidad social y política.

En tal sentido, las aguas residuales generadas por aquellos centros de población que tienen sistemas de drenaje para evacuar sus residuos líquidos, se convierten en una importante alternativa para la producción agrícola.

REVISION DE LITERATURA

Cultivo del Sorgo(*sorghum vulgare pers*)

Origen

Según, <http://www.delariva.com/es/curiosidades/sorgo.htm#unosorgo>, de la familia de las Gramíneas, el género Sorghum, pertenece a la tribu de las andropogóneas. Comprende especies anuales y especies vivaces rizomoides. Alcanza gran longitud (de 1 a 4 m.), llevando varios tallos por pie (fenómeno de ahijamiento), cada uno de los cuales lleva una inflorescencia en panícula, compacta en las especies cultivadas. Una espiga sésil, fértil, acompañada por dos espiguillas estériles pedunculadas caracteriza el género.

El sorgo de grano era conocido en la India desde la más lejana antigüedad, pero en todo el mundo se encuentran especies silvestres más o menos adaptadas. Probablemente desde la India fue introducido a Asia anteriormente. Al principio de la Era Cristiana, el sorgo era conocido en la cuenca mediterránea y en África Tropical.

Uso y propiedades de sorgo

El sorgo forma parte de la dieta básica de millones de personas en China, la India y África; en los países industrializados se cultiva sobre todo como planta forrajera.

MATERIALES Y METODOS

Localización

Este trabajo se realizó en el laboratorio de Calidad de Aguas del Departamento de Riego y Drenaje dentro de las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN) que se encuentra localizada en Buenavista Saltillo Coahuila, México.

Materiales

Agua residual

Se utilizó agua residual cruda, que llega al influente de la planta tratadora de aguas residuales ubicada dentro de las instalaciones de la UAAAN.

Semillas

Se utilizaron cinco variedades de semillas de sorgo las cuales fueron proporcionadas por la Bodega del Instituto Mexicano del Maiz de la UAAAN, las cuales provienen de Celaya, Guanajuato teniendo las siguientes características.

P9- 95 N 756 2005 variedad

Altura: 1.50 mts

Panoja: 18, 11, 9, 10,14 cm.

5301 kg. Por ha. Temporal

P4-95 N 746 variedad 2005

Altura: 1.15 mts

Panoja: 12, 11, 13,14

3958 kg. Por ha. Temporal.

RESULTADO Y DISCUSIÓN

Calidad agronómica del agua de riego

El tratamiento del 100% de concentración mostró los resultados del cuadro 15

Cuadro No.15 Determinaciones de la calidad agronómica del agua residual

pH	5.07
CE	0.904
aniones	meq/lt
calcio	2
magnesio	2.56
sodio	6.2
cationes	meq/lt
carbonato	0
bicarbonato	8.4
cloruros	2.64
sulfato	2.95

A Continuación se presentan los datos que se determino en cada concentración de agua residual con la que se trabajo en el experimento.

Cuadro No 16 Análisis de Comportamiento de las concentraciones

cationes	100%	75%	50%	25%	Testigo
	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l
calcio	2	1,5	1	0,5	Traza
magnesio	2.56	1,92	1,28	0,64	Traza
sodio	6.2	4,65	3,1	1,55	Traza
aniones					
carbonato	0	0	0	0	Traza
bicarbonato	8.4	6.3	4.2	2.1	Traza
Cloruros	2.64	1.98	1.32	0.66	Traza
Sulfato	2.95	2.21	1.48	0.74	traza
	100%	75%	50%	25%	testigo
CE(dS/m)	0.904	0.678	0.452	0.226	6.9
pH	5.07	5.07	5.07	5.07	5.07

CONCLUSION

Los resultados muestran que el testigo fue el que obtuvo mayor porcentaje de germinación, pero también se puede agregar que hubo variedades resistentes a las sales la variedad 95 N 754 variedad 2005, 95 N755 variedad 2005.

Por otra parte se determinó que es muy poca la diferencia significativa entre los tratamientos que se sometieron a prueba, obteniendo un 75 por ciento de germinación siendo este el mas bajo. Por lo tanto las variedades 95N 997 variedad 2005, 95N 754 variedad 2005, se comportaron de la misma manera obteniendo un 96 por ciento de germinacion, mientras que las variedades 95N 756 variedad 2005, 95N 746 variedad 2005 obtuviendo un 75 por ciento de germinación siendo los mas bajos.

Al realizar la calidad agronómica del agua residual utilizada se obtuvieron las siguientes características:

1. Se trabajo con agua altamente salina, salinidad media, salinidad baja
2. Agua baja en sodio.

RESUMEN

El sorgo es un cereal que ocupa el quinto lugar en cuanto a superficie cosechada en todo el país, y la utilización de aguas residuales es una buena alternativa para la agricultura ya que el agua de buena calidad es cada vez es más escasa para ser usada en la agricultura.

El cultivo de sorgo abarca hoy en días mas de 47 millones de hectáreas, con un rendimiento medio de entorno a 1450 Kg./ha. México y Argentina son los países de América central y del sur en que más se produce.

En este trabajo de investigación se realizaron pruebas comparativas con cinco variedades de sorgo aplicando cinco concentraciones de agua residual y determinar si existe algún efecto en la germinación.

Al aplicar agua residual en la germinación del sorgo, este no se ve muy afectado al aumentar la concentración del agua residual, por lo tanto se puede decir que esta se recomienda para regar cultivos como el sorgo en todo su ciclo.

RECOMENDACIONES

Es recomendable utilizar semillas que sean resistentes al agua residual como la semilla de sorgo.

Los resultados muestran que, el sorgo es uno de los cultivos que es resistente al agua residual con una conductividad eléctrica de 0.904 y por lo tanto no se descarta el uso de este tipo de agua en todo el ciclo vegetativo.

El agua residual cruda trae muchos beneficios para el riego si se planea y se maneja en forma adecuada en diferentes cultivos como lo es el sorgo, sin embargo, puede haber daño al hombre desde el punto de vista bacteriológico por eso es necesario su buen manejo, y es preciso buscar la posibilidad de evitar riesgos.

REVISION BIBLIOGRAFICA

Aguilera C. M. y Martínez E. R. 1996. Relación Agua Suelo Planta Atmósfera. Cuarta edición, corregida. Ed. Comité del departamento de irrigación UACH.

Aguirre M.J. 1984. Cultivo del sorgo y sus principales plagas de importancia económica en México sorghum bicolor I. monografía ing. Agrónomo, Buenavista saltillo.

Armar-Klemesu et al 1998. Contaminación de cultivos con organismos patógenos por la reutilización de aguas residuales urbanas y residuos orgánicos sólidos, (<http://www.fao.org/urbanag/paper2-s.htm>)

Braatz S. y Kandíah A.2004. Beneficios de la Utilización de Aguas Residuales, para el Riego, http://www.respyn.uanl.mx/i/3/ensayos/aguas_Residuales.html.

Escalas Cañellas 2006, tecnologías y usos de las aguas residuales en México. Centro de investigación y estudios de posgrado. Facultad de ingeniería, universidad autónoma de San Luís Potosí México.www.tecspar.org/curso_chile/a_escalas/tecnologias_y_usos_de_aguas_residuales_en_mexico_a_escalas.pdf.

Furedy 1996 Contaminación de cultivos con organismos patógenos por la reutilización de aguas residuales urbanas y residuos orgánicos sólidos, <http://www.fao.org/urbanag/paper2-s.htm>

Henk de Zeeuw 1994, Contaminación de cultivos con organismos patógenos por la reutilización de aguas residuales urbanas y residuos orgánicos sólidos, (<http://www.fao.org/urbanag/paper2-s.htm>)

Leland R.H. 1982. El sorgo, guías para su mejoramiento cuarta Edición, UACH, México DF.

Origen y propiedades del sorgo http://www.delariva.com/es/curiosidades/_sorgo.htm#unosorgo

Ratikanta M.P. 1986. Morfología, crecimiento y desarrollo, UANL, Facultad de Agronomía D.D.Sc.

Richards L.A. 1960. Diagnostico de rehabilitación de suelos salinos y sodicos Traducido por Sánchez D. Ortega t. chena G., vera R. y Zapata Ed. CVLTVRA , T.G.S.A. México DF.

Organización Mundial de la salud, http://www.who.int/water_sanitation_health/Wastewater/es/.

Depositos de documentos de la FAO, <http://www.fao.org/docrep/w0312s/w0312S09.htm>.

<http://www.monografias.com/trabajos/sorgo/sorgo.shtml>.

http://www.cna.org.mx/docs/cesa_web/CAPII.htm.

<http://www.fao.org/docrep/005/Y3918S/y3918s11.htm#TopOfPage>.

<http://www.zaragoza.es/azar/ayto/normas/anexo/ANEXAGUA.pdf>.